

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 195 21 150 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
H 01 L 23/522
H 01 L 21/768
H 01 L 21/285

②1 Aktenzeichen: 195 21 150.2
②2 Anmeldetag: 9. 6. 95
④3 Offenlegungstag: 14. 12. 95

DE 195 21 150 A 1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1
10.06.94 KR 13121-94

⑦1 Anmelder:
Samsung Electronics Co., Ltd., Suwon, KR

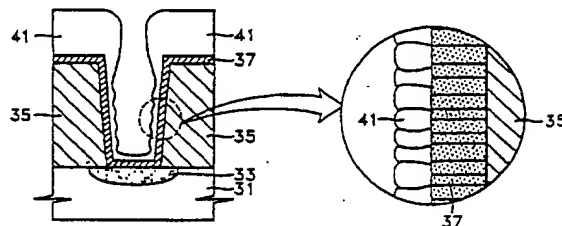
⑦4 Vertreter:
Patentanwälte Wilhelm & Dauster, 70174 Stuttgart

⑦2 Erfinder:
Lee, Sang-in, Suwon, KR; Ha, Sun-ho, Seoul/Soul,
KR

⑤4 Verdrahtungsstruktur eines Halbleiterbauelementes und Verfahren zu ihrer Herstellung

⑤7 Die Erfindung bezieht sich auf eine Verdrahtungsstruktur mit einem Halbleitersubstrat (31), einer darauf gebildeten Isolationsschicht (35), die eine Öffnung aufweist, einem Diffusionsbarrierenfilm (37) und einer darauf gebildeten Metallschicht (41).

Es wird vorgeschlagen, den Diffusionsbarrierenfilm (37) an den Seitenwänden der Öffnung mittels einer Plasmabestrahlung mit einer ebenmäßigen Oberfläche auszubilden. Die auf einem solchen Diffusionsbarrierenfilm gebildete Metallschicht lässt sich dann als gleichmäßiger und kontinuierlicher Aluminiumfilm mit ausgezeichneter Stufenbedeckung aufbringen. Mit dieser Vorgehensweise können Kontaktlöcher mit hohem Aspektverhältnis zuverlässig mit Metall gefüllt und überdeckt werden, was sich günstig auf die Zuverlässigkeit des gefertigten Bauelementes auswirkt. Verwendung in der Halbleitertechnologie.



BEST AVAILABLE COPY

DE 195 21 150 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen
BUNDESDRUCKEREI 10. 95 508 050/512

19/29

Die Erfindung bezieht sich auf eine Verdrahtungsstruktur eines Halbleiterbauelementes nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie auf ein Verfahren zu ihrer Herstellung.

Allgemein gesprochen ist die Verdrahtung der kritischste Teil im Herstellungsprozeß eines Halbleiterbauelementes, da die Betriebsgeschwindigkeit, die Ausbeute und die Zuverlässigkeit des Bauelementes sämtlich durch das Verdrahtungsverfahren bestimmt sind. Die Stufenbedeckung eines Metalls ist in einem herkömmlichen Halbleiterbauelement mit geringer Integrationsdichte keine bedeutsame Schwierigkeit. In jüngerer Zeit haben jedoch höhere Integrationsgrade zu extrem kleinen Kontaktlöchern (mit Durchmessern von einem halben Mikrometer oder weniger) und sehr dünnen Störstelleninjektionsbereichen in dem Halbleitersubstrat geführt. Bei Verwendung herkömmlicher Aluminiumverdrahtungsmethoden ist es schwierig, ein Kontaktloch kleiner als 1 µm zu füllen, da sich ein Hohlraum im Kontaktloch bilden kann, der die Zuverlässigkeit der Metallverdrahtungsschicht herabsetzt.

Eine Metallverdrahtungsschicht wird unter Verwendung von reinem Aluminium auf einem Siliciumsubstrat in einem frühen Stadium der Herstellung eines Halbleiterbauelementes gebildet. Wenn die Temperatur in einer nachfolgenden Sinterstufe ansteigt, absorbiert dann die gebildete Aluminiumschicht Siliciumatome aus dem Substrat, was zu einer Sperrschicht-(Al)-Kurzschlußbildung führt. Daher fand Al-1%Si (mit Silicium übersättigtes Aluminium) breite Verwendung als Material für die Metallverdrahtungsschicht. Wenn die Verdrahtung eines Halbleiterbauelementes jedoch unter Verwendung von Al-1%Si hergestellt wird, wird dem Aluminiumfilm während einer Wärmebehandlung bei einer Temperatur über 450°C Silicium entzogen, wodurch sich eine Siliciumablagerung bildet. Außerdem entsteht in einem Kontaktloch ein Si-Knöllchen aufgrund des epitaxialen Festphasenwachstums von Siliciumatomen, wodurch sich der Verdrahtungs- und der Kontaktwiderstand erhöhen.

Um die obige Al-Kurzschlußbildung, die Erzeugung der Siliciumablagerung und das Si-Knöllchen aufgrund einer Wechselwirkung zwischen einer Metallverdrahtungsschicht und einem Siliciumsubstrat zu verhindern, wird ein Diffusionsbarrierenfilm zwischen der Verdrahtungsschicht und dem Siliciumsubstrat oder zwischen der Verdrahtungsschicht und einer Isolationsschicht angeordnet. Beispielsweise ist in der Patentschrift US 4.897.709 von Yokoyama et al. ein Verfahren zur Erzeugung eines Film aus Titanitrid (TiN) als Diffusionsbarrierenfilm auf einer inneren Wand eines Kontaktlochs offenbart. Außerdem ist in der Offenlegungsschrift JP 61-183942 eine Technik offenbart, bei der als Diffusionsbarrierenschicht ein Doppelfilm bestehend aus einem Film aus einem hochschmelzenden Metall (Ti) und einem TiN-Film gebildet und wärmebehandelt wird, wobei eine Schicht aus Titan (Ti) mit einem Halbleitersubstrat wechselwirkt, so daß sich am Boden eines an das Halbleitersubstrat angrenzenden Kontaktlochs eine hochschmelzende Metallsilicidschicht bildet, die aus thermisch stabilen Komponenten besteht, um dadurch einen Barriereneffekt zu verstärken. Im allgemeinen wird ein solcher Diffusionsbarrierenfilm in einer Stickstoffatmosphäre getempert. Wenn der Diffusionsbarrierenfilm nicht getempert wird, tritt beim Sputtern von Aluminium oder einer Aluminiumlegierung bei einer

Temperatur oberhalb von 450°C oder bei der Durchführung eines Sintervorgangs eine Sperrschicht-Kurzschlußbildung auf, was unerwünscht ist. Außerdem wird auch ein TiN- oder ein TiW-Film für den Diffusionsbarrierenfilm verwendet. In dem TiN- oder TiW-Film existiert ein mikrostruktureller Defekt, der die Diffusion von Aluminium oder Silicium an einer Korngrenze nicht vollständig unterbinden kann.

Das weitere wurde ein Verfahren zur Blockierung eines Diffusionspfades an einer Korngrenze durch Verwenden einer Sauerstoffpolsterungsmethode vorgeschlagen (siehe J.B. Stimmel und B.N. Mehrotra, "Effects of Oxygen on Reactively Sputtered TiN Films", Tungsten and Other Refractory Metals for VLSI Application III, 1988, Seiten 375—382). Wenn TiN abgeschieden und der umgebenden Atmosphäre ausgesetzt wird, mischt sich das freiliegende TiN mit einer geringen Menge Sauerstoff aus der Atmosphäre, wodurch sich ein Diffusionsbarriereneffekt erhöht. Dies wird als Polsterungseffekt bezeichnet. Genauer geben Stimmel und Mehrotra an, daß Sauerstoff in Oxidform an einer Oberfläche des Barrierenmetalls sowie an einer Korngrenze vorliegt, was den Polsterungseffekt erklärt.

Jedoch kann sich der Kontaktwiderstand erhöhen, wenn eine durch Abscheiden von Ti oder TiN gebildete Barrierenschicht der Atmosphäre ausgesetzt wird oder wenn das TiN unter Mischen mit Sauerstoff abgeschieden wird oder wenn das TiN in einer mit Sauerstoff gemischten Stickstoffatmosphäre getempert wird. Dementsprechend ändert sich die Barriereneigenschaft eines TiN-Films in Abhängigkeit von der Dauer der Atmosphärenaussetzung, der Menge an einströmendem Sauerstoff während der Abscheidung, der Menge an Sauerstoff bei der Temperung und von der Temperatur. Das Tempern der Barrierenschicht wird bei einer Temperatur von 450°C bis 550°C für 30 Minuten bis 60 Minuten unter einer N₂-Atmosphäre durchgeführt, was als eine optimale Bedingung bekannt ist.

Der beim Tempern eines Diffusionsbarrierenfilms eingebrachte Sauerstoffpolsterungseffekt verursacht jedoch eine Oxidation an der Oberfläche des Diffusionsbarrierenfilms und führt daher zu Schwierigkeiten beispielsweise hinsichtlich der Kontakteigenschaften, wenn ein Kontaktloch in einem nachfolgenden Prozeß unter Verwendung von Aluminium vergraben, d. h. überdeckend gefüllt wird. Der Sauerstoffpolsterungseffekt verringert folglich die Zuverlässigkeit bei einem solchen Halbleiterbauelement. Um diese Verschlechterung zu unterdrücken, werden ein Verfahren zur Einfügung einer Benetzungsschicht zwecks Verbesserung der Benetzbarkeit der Metallschicht sowie ein Verfahren zum Vergraben eines Kontaktlochs nach Erzeugung einer Silylierungsschicht und Wasserstoffbehandlung vorgeschlagen.

Bei einem weiteren Verfahren findet eine Ioneninjektion von Si oder O₂ statt, nachdem eine TiN-Schicht, d. h. eine Barrierenschicht, wärmebehandelt wurde, um die Benetzbarkeit zwischen dem Barrierenmetall und einer Aluminiumverdrahtung zu erhöhen sowie die Verdrahtungsqualität und -ausbeute zu steigern (siehe Offenlegungsschrift JP 88-176035 von Higata Masafumi).

Gemäß noch einer weiteren Veröffentlichung verringert sich in dem Fall, in dem Ti vor einem Aluminiumsputtervorgang abgeschieden und anschließend Aluminium bei einer hohen Temperatur zwecks Füllung eines Kontaktlochs mit einer Abmessung von 0,5 µm und einem Aspektverhältnis von 1,6 aufgebracht wird, ein Auffalleffekt, wenn das Ti dünn ist (siehe VMIC, 1991,

Seiten 170—176). Wenn jedoch die Abmessung eines Kontaktlochs kleiner wird, d. h. unter $0,5\ \mu\text{m}$ fällt, wird das Kontaktloch nicht vollständig gefüllt, oder es entsteht ein Hohlraum in dem Kontaktloch, wodurch sich die Zuverlässigkeit verschlechtert.

Die Fig. 1 bis 3 zeigen in Querschnitten eine herkömmliche Verdrahtungsstruktur mit vergrabener Öffnung (Kontaktloch), wobei verschiedene Schwierigkeiten exemplarisch dargestellt sind, die beim Füllen eines Kontaktlochs auftreten können. Zunächst ist auf einem Halbleitersubstrat (2) ein Störstellendiffusionsgebiet (4) gebildet, aus dem ein Source/Drain-Gebiet wird. Weiter ist auf der resultierenden Struktur eine Isolationsschicht (8) gebildet, die ein Kontaktloch (6) zum teilweisen Freilegen der Oberfläche des Störstellendiffusionsgebietes (4) aufweist (zur einfacheren Erläuterung ist eine zugehörige Gate-Elektrode der MOS-Struktur nicht gezeigt). Eine nicht gezeigte Titanschicht als eine ohmsche Kontaktschicht sowie eine TiN-Schicht (10) als eine Diffusionsbarrierschicht sind dann nacheinander auf der Oberfläche der inneren Seitenwände des Kontaktlochs (6), auf dem durch das Kontaktloch freigelegten Störstellendiffusionsgebiet (4) und auf der Isolationsschicht (8) gebildet. Des weiteren ist auf der TiN-Schicht eine Aluminiumschicht (12) zum Füllen des Kontaktlochs (6) gebildet.

Die oben beschriebene Verdrahtungsstruktur mit vergrabener Kontaktloch kann wie folgt hergestellt werden. Als erstes wird ein nicht gezeigter Feldoxidfilm auf dem Halbleitersubstrat (2) mittels eines üblichen Verfahrens zur lokalen Oxidation von Silicium (LOCOS) gebildet, wonach eine Störstellenspezies auf das Halbleitersubstrat (2) zwischen die Feldoxidfilmbereiche eingebracht wird, so daß das Störstellendiffusionsgebiet (4) zwecks Bildung eines Source/Drain-Gebietes entsteht. Daraufhin wird ein isolierendes Material, beispielsweise Siliciumdioxid (SiO_2), auf die resultierende Struktur mittels eines üblichen chemischen Gasphasenabscheidungsverfahrens (CVD) aufgebracht, um die Isolationsschicht zu erzeugen. Anschließend wird zur Erzeugung des Kontaktlochs (6) ein nicht gezeigtes Photoresistmuster auf der Isolationsschicht (8) gebildet, die dann unter Verwendung des Photoresistmusters als Ätzmaske zwecks Bildung der Öffnung (6) geätzt wird, bis das Störstellendiffusionsgebiet (4) freiliegt. Dann wird zur Bildung der ohmschen Kontaktschicht Titan mittels eines Sputterverfahrens in einer Dicke von 30 nm bis 90 nm auf der Oberfläche der inneren Seitenwände der Öffnung (6), auf dem durch die Öffnung (6) freigelegten Störstellendiffusionsgebiet (4) und auf der Isolationsschicht (8) abgeschieden. Nachfolgend wird auf die Ti-Schicht die Diffusionsbarrierschicht (10) mittels eines Sputterverfahrens in einer Dicke von 60 nm bis 200 nm aufgebracht. Auf der resultierenden Struktur wird mittels eines Sputterverfahrens Aluminium abgeschieden, um die Aluminiumschicht (12) zum Vergraben der Öffnung (6) zu erzeugen.

Bei der oben beschriebenen, herkömmlichen Verdrahtungsstruktur mit vergrabener Kontaktloch und dem Verfahren zu ihrer Herstellung werden die Ti-Schicht, d. h. die ohmsche Kontaktschicht, die TiN-Schicht (10), d. h. die Diffusionsbarrierschicht, und die Al-Schicht (12) hauptsächlich durch ein Sputterverfahren gebildet. Die Abscheidung mittels eines herkömmlichen Sputterverfahrens kann jedoch mit größer werdendem Aspektverhältnis des Kontaktlochs zu einem Hohlraum (14) führen, wie in den Fig. 1 und 2 gezeigt, was die Zuverlässigkeit eines solchermaßen hergestell-

ten Bauelementes verschlechtert. Außerdem ist bei dieser herkömmlichen Technik die Stufenbedeckung durch die Aluminiumschicht unzureichend, wie in Fig. 3 gezeigt, so daß die Gefahr besteht, daß Verdrahtungskurzschlüsse auftreten. Auch dies setzt daher die Zuverlässigkeit des Bauelementes herab.

Fig. 4 veranschaulicht eine anfängliche Keimbildung eines Aluminiumfilms, wenn Aluminium auf den in den Fig. 1 bis 3 gezeigten Diffusionsbarrierenfilm aufgebracht wird, und beinhaltet eine vergrößerte Ansicht eines Seitenwandabschnitts, welche die anfängliche Keimbildung zeigt. Hierbei bezeichnen die Bezugszeichen 10 eine TiN-Schicht, 10a ein TiN-Korn, 12 eine Aluminiumschicht und 12a ein Aluminiumkorn. Im Verbindung mit Fig. 4 werden die Charakteristik der an den inneren Seitenwänden einer Öffnung gebildeten TiN-Schicht und die Oberflächenmorphologie einer Aluminiumschicht erläutert. Da während der Durchführung der Deposition die Oberfläche der an der Oberfläche der inneren Seitenwände einer Öffnung gebildeten TiN-Schicht strukturell senkrecht zum Target liegt, wird dort eine vergleichsweise geringe Menge an gesputterten Atomen abgeschieden. Eine derartige Tendenz tritt offensichtlich auf, wenn eine Kollimationstechnik verwendet wird. Zudem werden säulenförmige Körner (10a) gebildet, da das TiN dazu neigt, in der $\langle 111 \rangle$ -Richtung zu wachsen.

Im allgemeinen ist eine durch ein Sputterverfahren oder CVD-Verfahren erhaltene TiN-Schicht nicht amorph. Die inneren Seitenwände des Kontaktlochs, an denen nur vergleichsweise wenig gesputtete Atome abgeschieden wurden, besitzen daher eine raue Oberfläche. Demgemäß ist die anfängliche Depositionscharakteristik für Aluminiumatome, die auf dem rauen Diffusionsbarrierenfilm gebildet werden, unzureichend. Mit anderen Worten erfolgt eine Keimbildung von Aluminium um die relativ großen TiN-Körner nicht gleichmäßig, und das Aluminium wird uneben und diskontinuierlich abgeschieden, wie in der vergrößerten Ansicht dargestellt. Wenngleich eine Wärmebehandlung bei der Abscheidung von Aluminium in einem Kontaktloch während eines nachfolgenden Prozesses durchgeführt wird, kann daher ein Hohlraum auftreten, und die Erzeugung eines solchen Hohlraums erfolgt leichter in einem Kontaktloch mit einem hohen Aspektverhältnis. Dies verringert die Zuverlässigkeit des entsprechenden Halbleiterbauelementes.

Der Erfindung liegt als technisches Problem die Bereitstellung einer Verdrahtungsstruktur eines Halbleiterbauelementes mit einer ebenmäßigen Oberfläche eines Diffusionsbarrierenfilms und folglich mit einem wirksam überdeckend gefüllten Kontaktloch mit hoher Stufe sowie eines Verfahrens zu ihrer Herstellung zugrunde.

Dieses Problem wird durch eine Verdrahtungsstruktur mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 6, 15 oder 20 gelöst. Das Plasma wird dazu verwendet, die Oberfläche des Diffusionsbarrierenfilms zu glätten. Da auf diese Weise eine vorzügliche anfängliche Depositionscharakteristik für Aluminiumatome gegeben ist, wird die Metallschicht, d. h. ein Aluminiumfilm, gleichmäßig und kontinuierlich auf dem ebenmäßigen Diffusionsbarrierenfilm mit einer ausgezeichneten Stufenbedeckung abgeschieden. Dementsprechend kann ein Kontaktloch mit hoher Stufe effektiv vergraben werden, so daß die Zuverlässigkeit eines solchen Bauelements gesteigert wird.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden nachfolgend beschrieben. Hierbei zeigen:

Fig. 1, 2 und 3 Querschnittsansichten zur Veranschaulichung der verschiedenen Schwierigkeiten einer herkömmlich vergrabenen Verdrahtungsstruktur,

Fig. 4 eine anfängliche Keimbildung eines Aluminiumfilms beim Abscheiden von Aluminium auf dem in den Fig. 1 bis 3 gezeigten Diffusionsbarrierenfilm,

Fig. 5 eine Ansicht entsprechend Fig. 4, jedoch für eine erfindungsgemäße Verdrahtungsschichtstruktur eines Halbleiterbauelementes,

Fig. 6A bis 6D Querschnitte zur Veranschaulichung aufeinanderfolgender Stufen eines ersten erfindungsgemäßen Verfahrensbeispiels zur Herstellung einer Verdrahtungsschicht eines Halbleiterbauelementes, wobei die Fig. 6B und 6C jeweils eine vergrößerte Ansicht enthalten, welche die Oberfläche des an einer Seitenwand einer Öffnung gebildeten Diffusionsbarrierenfilms zeigt,

Fig. 7A bis 7C Querschnittsansichten zur Veranschaulichung aufeinanderfolgender Stufen eines zweiten erfindungsgemäßen Verfahrensbeispiels zur Erzeugung einer Verdrahtungsschicht eines Halbleiterbauelementes,

Fig. 8A bis 8C Querschnittsansichten zur Veranschaulichung aufeinanderfolgender Stufen eines dritten erfindungsgemäßen Verfahrensbeispiels zur Herstellung einer Verdrahtungsschicht eines Halbleiterbauelementes,

Fig. 9A bis 9C Querschnittsansichten zur Veranschaulichung aufeinanderfolgender Stufen eines fünften erfindungsgemäßen Verfahrensbeispiels zur Herstellung einer Verdrahtungsschicht eines Halbleiterbauelementes, wobei Fig. 9A eine vergrößerte Ansicht enthält, welche die Oberfläche des auf einer Seitenwand einer Öffnung gebildeten Diffusionsbarrierenfilms zeigt,

Fig. 10A bis 10C Querschnittsansichten zur Veranschaulichung aufeinanderfolgender Stufen eines sechsten erfindungsgemäßen Verfahrensbeispiels zur Herstellung einer Verdrahtungsschicht und

Fig. 11 und 12 SEM-Aufnahmen einer TiN-Oberfläche, die erfindungsgemäß plasmabestrahlt wurde, bzw. einer herkömmlichen TiN-Oberfläche, die nicht plasmabestrahlt wurde.

Unter Bezugnahme auf Fig. 5 wird nun die Struktur einer erfindungsgemäßen Metallverdrahtungsschicht eines Halbleiterbauelementes erläutert (zur Vereinfachung der Erläuterung der Erfindung ist ein zugehöriges Gate-Gebiet nicht dargestellt und beschrieben). Aus Fig. 5 ist ein auf einem Halbleitersubstrat (31) gebildetes Störstellendiffusionsgebiet (33) zu erkennen, aus dem ein Source/Drain-Gebiet gebildet wird. Die Störstellen können entweder n^+ - oder p^+ -leitend sein, und ein nicht gezeigter Feldoxidfilm kann rechts und links von dem Störstellendiffusionsgebiet ausgebildet sein. Das in dem Halbleitersubstrat (31) erzeugte Störstellendiffusionsgebiet (31) ist lediglich eine mögliche Realisierung einer Siliciumschicht, die zum Erreichen des Ziels der vorliegenden Erfindung geeignet ist, das darin besteht, eine Struktur mit vergrabener Kontaktloch zwecks Vergraben einer oberen leitfähigen Schicht in einer Siliciumschicht in einem unteren Bereich einer Öffnung, z. B. eines Kontaktlochs oder eines Durchkontaktlochs, bereitzustellen. Beispielsweise kann das in dem Halbleitersubstrat gebildete Störstellendiffusions-

gebiet (33) durch eine nicht gezeigte, untere leitfähige Schicht ersetzt sein, z. B. durch eine Polysiliciumschicht, die auf einer beliebigen darunterliegenden Struktur an der Oberseite des Halbleitersubstrats gebildet ist. Die Realisierung einer unten beschriebenen Struktur mit vergrabener Kontaktloch kann analog auf die auf einer unteren leitfähigen Schicht erzeugte Struktur mit vergrabener Durchkontaktloch angewendet werden.

Auf der resultierenden Struktur ist eine Isolationschicht (35) mit einer Öffnung, hier einem Kontaktloch, zur Freilegung des Störstellendiffusionsgebietes aufgebracht. Die Isolationschicht (35) besteht aus einem isolierenden Material, z. B. Siliciumdioxid. Die Öffnung kann außer einem Kontaktloch zur Freilegung des Störstellendiffusionsgebietes (33) auch ein Durchkontaktloch zur Freilegung einer darunterliegenden leitfähigen Schicht, z. B. aus Polysilicium, sein.

Anschließend ist ein Diffusionsbarrierenfilm (37) gebildet. Der Diffusionsbarrierenfilm (37) kann eine auf einer nicht gezeigten Ti-Schicht gebildete TiN-Schicht sein. Die TiN-Schicht ist auf der Oberfläche der Innenseite der Öffnung, auf dem durch die Öffnung freigelegten Störstellendiffusionsgebiet (33) und auf der Isolationschicht (35) gebildet. Der Diffusionsbarrierenfilm (37) kann auch aus einer Ti-Schicht bestehen. Anschließend ist auf die resultierende Struktur Aluminium mittels eines Sputterverfahrens aufgebracht, um eine Metallschicht (41) zum Vergraben der Öffnung zu bilden.

In Fig. 5 ist eine anfängliche Keimbildung der Metallschicht in einer vergrößerten Ansicht des Diffusionsbarrierenfilms und der Metallschicht, die auf einer Seitenwand der Öffnung gebildet sind, dargestellt. Ersichtlich ist ein ebenmäßiger Diffusionsbarrierenfilm (37) ohne Korngrenzen an der Seitenwand der Öffnung gebildet. Die anfängliche Depositionscharakteristik der Aluminiumatome auf der Seitenwand des Diffusionsbarrierenfilms (37) ist ausgezeichnet. Mit anderen Worten erfolgt eine gleichmäßige Keimbildung eines Aluminiumfilms aufgrund des einheitlichen TiN-Korns bzw. der glatten Oberfläche des TiN-Films. Dementsprechend ist der Aluminiumfilm im Unterschied zur herkömmlichen Technik gleichförmig und kontinuierlich aufgebracht.

Ausführungsbeispiel 1

Anhand der Fig. 6A bis 6D wird ein erstes erfindungsgemäßes Verfahrensbeispiel zur Herstellung einer Verdrahtungsstruktur eines Halbleiterbauelementes erläutert. Fig. 6A zeigt den Schritt zur Bildung der mit einer Öffnung versehenen Isolationschicht (35) auf dem Halbleitersubstrat (31). Hierbei wird zunächst ein nicht gezeigter Feldoxidfilm auf dem Halbleitersubstrat (31) mittels eines üblichen LOCOS-Verfahrens erzeugt, wonach eine n^+ - oder p^+ -leitende Störstellenspezies in das Halbleitersubstrat (31) zwischen die Feldoxidfilmbereiche implantiert wird, um das Störstellendiffusionsgebiet (33) zur Bereitstellung eines Source/Drain-Gebietes zu bilden. Der Prozeß zur Erzeugung des Feldoxidfilms ist hierbei beliebig, und das Störstellendiffusionsgebiet kann erfindungsgemäß durch eine beliebige Siliciumschicht, z. B. aus Polysilicium, ersetzt sein. Auf die resultierende Struktur wird mittels eines üblichen CVD-Verfahrens ein isolierendes Material, beispielsweise Siliciumdioxid (SiO_2), aufgebracht, um eine Isolationsmaterialschicht zu erzeugen. Die Isolationsmaterialschicht wird in einer Dicke von 0,8 μm bis 1,6 μm unter Verwendung eines Borphosphorsilikatglases (BPSG) gebildet. Anschließend wird ein nicht gezeigtes Photoresistmu-

ster zur Erzeugung einer Öffnung auf der Isolationsmaterialschicht erzeugt. Dann wird die Isolationsmaterialschicht unter Verwendung des Photoresistmusters als Ätzmaske geätzt, bis das Störstellendiffusionsgebiet (33) freiliegt, wodurch die mit einer Öffnung versehene Isolationschicht (35) bereitgestellt ist.

Fig. 6B veranschaulicht den Schritt zur Bildung des Diffusionsbarrierenfilms (37) ganz flächig auf dem mit der Öffnung versehenen Substrat. Der Diffusionsbarrierenfilm (37) wird überall auf die Isolationschicht (35), die Innenseite der Öffnung und die freiliegende Oberfläche des Halbleitersubstrats (31) aufgebracht. Genauer gesagt wird Ti in einer Dicke von 20 nm bis 30 nm mittels eines Sputterverfahrens in einer Argonatmosphäre bei 2 mTorr abgeschieden, so daß eine Ti-Schicht entsteht, wonach Titannitrid in einer Dicke von 30 nm bis 50 nm mittels eines Sputterverfahrens unter den Bedingungen einer Argongasmenge von 30 sccm bis 50 sccm und einer Stickstoffmenge von 50 sccm bis 85 sccm abgeschieden wird, um den Diffusionsbarrierenfilm (37) zu bilden. Die Depositionsgeschwindigkeit beträgt ungefähr 50 nm/Minute während der Abscheidung der Ti-Schicht. Zudem beträgt die Substrattemperatur während der Ti- oder der TiN-Abscheidung 200°C. Zur Abscheidung der Ti- oder der TiN-Schicht kann speziell eine Kollimationstechnik verwendet werden. Die Abmessung des Kollimators beträgt 5/8" und das Aspektverhältnis ist 1,5 : 1. Die an den Seitenwänden der Öffnung gebildete TiN-Schicht weist eine raue Oberfläche an den Seitenwänden des Kontaktlochs auf, wo nur ein relativ kleiner Anteil der gesputterten Atome abgeschieden werden, wie in der vergrößerten Ansicht von Fig. 6B zu erkennen.

Fig. 6C veranschaulicht den Schritt einer Plasmabestrahlung der Oberfläche der TiN-Schicht (37). Die Oberfläche der TiN-Schicht (37) wird unter Verwendung eines Argonplasmas erodiert, und die Plasmabestrahlung wird unter Verwendung einer ECR(Elektronzyklotronresonanz)-Plasma-, einer HF-Plasma- oder einer magnetronverstärkten Plasmaapparatur durchgeführt. Genauer gesagt wird während der das Argonplasma verwendenden Plasmabestrahlung die Oberfläche der TiN-Schicht über die Kollision von Argonionen (Ar^+) mit der auf den Seitenwänden gebildeten TiN-Schicht oder über die Absorption des Impulses der Argonionen in der TiN-Schicht erodiert. Als Ergebnis hiervon entsteht an den Seitenwänden der Öffnung eine TiN-Schicht (39b) mit einer glatten Oberfläche ohne Korngrenzen anstelle der sonstigen TiN-Schicht (39a) mit rauher Oberfläche.

Als erstes wird die Plasmabestrahlung durch Verwendung eines ECR-Plasmas näher erläutert. Die Oberfläche der TiN-Schicht (37) wird in einem Zustand plasmabestrahlt, bei dem unter Verwendung eines ECR-Plasmas eine HF-Vorspannung von ungefähr 50 V angewendet wird. Genauer gesagt führt die ECR-Plasmaapparatur den Prozeß unter Bedingungen einer Mikrowellenleistung von 1 kW bei einer Magnetofrequenz von 2,45 GHz, eines Argondrucks von 5 mTorr und einer auf Umgebungstemperatur befindlichen Substrattemperatur durch. Die TiN-Schicht wird um ungefähr 3 nm geätzt, wenn ein Standardoxidfilm (SiO_2) um 10 nm geätzt wird. Speziell kann, wenn die ECR-Plasmaapparatur verwendet wird, eine vorteilhaft kleine Vorspannung an das Substrat angelegt werden, und durch Zugabe von Wasserstoff kann ein Oberflächenbehandlungseffekt verstärkt werden.

Als nächstes wird die Plasmabestrahlung bei Verwen-

dung einer HF- oder magnetronverstärkten Plasmaapparatur näher erläutert. Die Sputterapparatur führt eine Plasmabestrahlung unter den Bedingungen einer Frequenz von 13,56 MHz, einer Vorspannung von 960 V, einer Argonatmosphäre von 7 mTorr und einer Substrattemperatur von 200°C durch. Das Sputterätzen durch Plasmabestrahlung wird hierbei unter Verwendung eines Oxidfilms (SiO_2) von 10 nm als ein Standard durchgeführt. Der Effekt ist derselbe, wenn ein Ätzvorgang für einen Standardoxidfilm von mehr als 10 nm durchgeführt wird. Die raue Oberfläche der TiN-Körner an den Seitenwänden der Öffnung wird erodiert, so daß eine TiN-Schicht mit einer glatten Oberfläche entsteht, wie in der vergrößerten Ansicht von Fig. 6C zu erkennen.

Fig. 6D veranschaulicht den Schritt zur Bildung der Metallschicht (41) für das Vergraben der Öffnung. Genauer gesagt wird auf den inneren Seitenwänden der Öffnung und auf dem durch die Öffnung freigelegten störstellendiffusionsgebiet (33) Aluminium mittels eines Sputterverfahrens abgeschieden, wodurch die Metallschicht (41) zum überdeckenden Füllen der Öffnung gebildet wird. Die Deposition der Metallschicht (41) wird hierbei unter Bedingungen einer Depositionstemperatur von 200°C, eines Argondrucks von 4 mTorr und einer Depositionsgeschwindigkeit von 5 nm/Sekunde bis 15 nm/Sekunde durchgeführt. Es ist spezieller wünschenswert, die Depositionsgeschwindigkeit auf 12,5 nm/Sekunde einzustellen. Wie oben beschrieben, werden die Depositionscharakteristik und die Stufenbedeckung dadurch verbessert, daß die Keimbildung einer auf einer glatten TiN-Schicht gebildeten Aluminiumschicht gleichmäßig erfolgt. Um eine bessere Stufenbedeckung zu erhalten, wird zunächst Aluminium unter Bedingungen abgeschieden, bei denen die Temperatur unter 100°C liegt und die Depositionsgeschwindigkeit 5 nm/Sekunde bis 15 nm/Sekunde beträgt. Danach wird Aluminium bei einer Temperatur höher als 200°C und mit einer höheren Depositionsgeschwindigkeit von 10 nm/Sekunde bis 15 nm/Sekunde abgeschieden. Hierdurch können gleichzeitig eine ausgezeichnete Stufenbedeckung bei einer niedrigen Temperatur und eine Verbesserung der Atombeweglichkeit bei einer hohen Temperatur erzielt werden.

Ausführungsbeispiel 2

Anhand der Fig. 7A bis 7C wird nachfolgend ein zweites erfindungsgemäßes Verfahrensbeispiel zur Herstellung einer Verdrahtungsschicht eines Halbleiterbauelementes erläutert. Das Beispiel 2 entspricht dem Beispiel 1 ausgenommen des Schrittes zur Bildung einer Metallschicht bei einer niedrigen Temperatur und der Durchführung einer Wärmebehandlung im Vakuum. Dabei sind gleiche Elemente wie diejenigen des Beispiels 1 durch gleiche Bezugszeichen markiert. Des weiteren sind die ersten, beim Beispiel 2 durchgeführten Schritte dieselben wie diejenigen gemäß den Fig. 6A bis 6C in Beispiel 1.

Fig. 7a veranschaulicht den Schritt zur Bildung einer ersten Metallschicht (43a). Genauer gesagt wird auf die inneren Seitenwände einer Öffnung, auf einen durch die Öffnung freigelegten Substratbereich und auf einen Diffusionsbarrierenfilm eine erste Metallschicht (43a) aufgebracht, die aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung, z. B. Al-Si-Cu, besteht. Die erste Metallschicht (43a) wird dadurch erzeugt, daß eine Gleichstrom-Magnetronapparatur bei Bedingungen einer Temperatur

von unterhalb 200°C, vorzugsweise einer niedrigen Temperatur von 25°C, eines Vakuumdrucks von weniger als $5,0 \cdot 10^{-7}$ Torr, bevorzugter unterhalb von $5,0 \cdot 10^{-8}$ Torr, und einer Depositionsgeschwindigkeit von 10 nm/Sekunde. Wenn die erste Metallschicht (43a) aufgebracht ist, kann ein Sputtervorgang oder ein Kollimationsvorgang bei niedrigem Druck unter der Bedingung eines Arbeitsdrucks von weniger als 2 mTorr angewendet werden, um einen Überhangeffekt an der Oberseite der Öffnung abzuschwächen.

Fig. 7B veranschaulicht den Schritt zur Durchführung einer Wärmebehandlung der ersten Metallschicht (43a). Die auf der Öffnung gebildete erste Metallschicht (43a) wird hierbei im Vakuum mittels Steigern der Temperatur der Gleichstrom-Magnetronapparatur oder durch Transferieren der Substrats in eine Kammer, die eine hohe Temperatur besitzt, wärmebehandelt. Genauer gesagt wird die Wärmebehandlung im Vakuum in einer solchen Weise durchgeführt, daß die erste Metallschicht (43a) für zwei Minuten ohne Vakuumunterbrechung bei einer Temperatur zwischen 50% und 90% des Schmelzpunktes der Aluminiumlegierung, z. B. oberhalb von 450°C, in einer Argon- oder einer reduzierenden Atmosphäre unterhalb von 10 mTorr wärmebehandelt wird, um dadurch die Atome der bei einer niedrigen Temperatur aufgesputterten Aluminiumlegierung in Bewegung zu setzen. Als Ergebnis hiervon wird die Öffnung vergraben, d. h. vollständig gefüllt und überdeckt, wie in Fig. 7B dargestellt, so daß die vergrabene erste Metallschicht (43b) entsteht. Die Temperatur der Wärmebehandlung kann hierbei mit zunehmenden Grad an Vakuum verringert werden, wenn die Deposition oder die Wärmebehandlung im Vakuum durchgeführt werden.

Fig. 7C veranschaulicht den Schritt zur Bildung einer zweiten Metallschicht (47) auf der vergrabenen ersten Metallschicht (43b). Genauer gesagt wird die zweite Metallschicht (47) auf der vergrabenen ersten Metallschicht (43b) unter Verwendung des gleichen Materials wie dasjenige der ersten Metallschicht (43a) gebildet. Der Schritt zur Bildung der zweiten Metallschicht (47) kann allerdings in dem Fall unnötig sein, in dem der Überhangeffekt weniger auftritt, da dann die erste Metallschicht (43a) in einer gewünschten Dicke aufgebracht und wärmebehandelt werden kann, um die Öffnung zu überdecken.

Ausführungsbeispiel 3

Anhand der Fig. 8A bis 8C wird ein drittes erfindungsgemäßes Verfahrensbeispiel zur Herstellung einer Verdrahtungsschicht eines Halbleiterbauelementes erläutert. Das Beispiel 3 entspricht dem Beispiel 2 mit der Ausnahme, daß erste Metallschichten (43c, 43b) dadurch gebildet werden, daß zunächst ein Metallmaterial bei einer Temperatur unterhalb von 200°C und anschließend ein solches bei einer Temperatur oberhalb von 400°C abgeschieden wird. Gleiche Elemente wie diejenigen des Beispiels 2 sind dabei mit den gleichen Bezugszeichen markiert. Ebenso entsprechen die ersten, in Beispiel 3 durchgeführten Schritte denjenigen gemäß den Fig. 6A bis 6C in Beispiel 1.

Fig. 8A zeigt den Schritt zur Bildung erster Metallschichten (43c) und (43d). Hierzu werden die ersten Metallschichten (43c, 43d) bestehend aus Al-Si-Cu auf den Seitenwänden einer Öffnung, auf einem durch die Öffnung freigelegten Substratbereich und auf einem Diffusionsbarrierenfilm gebildet. Genauer gesagt werden die ersten Metallschichten (43c, 43d) durch den folgenden

Prozeß aufgebracht. Zuerst wird Aluminium oder eine Aluminiumlegierung, z. B. Al-Si-Cu, bei einer Temperatur von 200°C oder weniger in einer Dicke abgeschieden, die weniger als die Hälfte der gewünschten Gesamtdicke beträgt, wonach als zweites eine Aluminiumlegierung aus Al-Si-Cu bei einer wünschenswerten Temperatur von 450°C abgeschieden wird. Hierbei sollte die Depositionsgeschwindigkeit bei einer niedrigen Temperatur, d. h. 200°C oder weniger, geringer als 10 nm/Sekunde und bei einer hohen Temperatur, d. h. 400°C oder darüber, geringer als 15 nm/Sekunde sein.

Fig. 8B veranschaulicht den Schritt zur Durchführung einer Wärmebehandlung der ersten Metallschichten (43c). Genauer gesagt werden die auf die Öffnung aufbrachten ersten Metallschichten (43c, 43d) im Vakuum mittels Steigern der Temperatur einer Gleichstrom-Magnetronapparatur oder durch Transferieren des Substrats in eine Kammer, die eine hohe Temperatur besitzt, wärmebehandelt. Aufgrund einer solchen Wärmebehandlung im Vakuum bewegen sich die Oberflächenatome des Aluminiums, so daß die Öffnung vergraben wird, wie in Fig. 8B dargestellt, um auf diese Weise die vergrabene erste Metallschicht (43e) zu erzeugen. Die Temperatur der Wärmebehandlung kann hierbei mit steigendem Grad an Vakuum verringert werden, wenn die Deposition oder die Wärmebehandlung im Vakuum durchgeführt wird.

Fig. 8C veranschaulicht den Schritt zur Bildung einer zweiten Metallschicht (49) auf der vergrabenen ersten Metallschicht (43e). Genauer gesagt wird die zweite Metallschicht (49) unter Verwendung des gleichen Materials wie dasjenige der ersten Metallschichten (43c, 43d) auf der vergrabenen ersten Metallschicht (43e) gebildet. Der Schritt zur Bildung der zweiten Metallschicht (49) kann gegebenenfalls unnötig sein, da die erste Metallschicht (43b) bereits in einer gewünschten Dicke aufgebracht und wärmebehandelt werden kann, um die Öffnung zu vergraben.

Ausführungsbeispiel 4

Beispiel 4 entspricht dem Beispiel 3 mit der Ausnahme, daß nach der Bildung der zweiten Metallschicht in Beispiel 3 eine zweite Wärmebehandlung im Vakuum durchgeführt wird. Genauer gesagt werden zunächst die Prozessschritte von Beispiel 3 nacheinander durchgeführt, woraufhin die zweite Wärmebehandlung im Vakuum erfolgt. Die zweite Wärmebehandlung im Vakuum wird bei der Temperatur der ersten Wärmebehandlung im Vakuum, beispielsweise bei 450°C, durchgeführt. Alternativ kann die zweite Wärmebehandlung im Vakuum auch bei einer niedrigen Temperatur der ersten Wärmebehandlung im Vakuum erfolgen.

Ausführungsbeispiel 5

Anhand der Fig. 9A bis 9C wird nachfolgend ein fünftes erfindungsgemäßes Verfahrensbeispiel zur Herstellung einer Verdrahtungsschicht eines Halbleiterbauelementes erläutert. Das Beispiel 5 entspricht demjenigen der Beispiele 3 und 4 mit der Ausnahme, daß vor der Bildung der ersten Metallschicht ein zweiter Diffusionsbarrierenfilm aufgebracht wird. Hierbei sind gleiche Elemente wie diejenigen in Beispiel 4 mit denselben Bezugszeichen markiert. Außerdem sind die ersten, in Beispiel 5 durchgeführten Schritte dieselben wie diejenigen entsprechend der Fig. 6A bis 6C in Beispiel 1.

Fig. 9A veranschaulicht den Schritt zur Bildung eines

zweiten Diffusionsbarrierenfilm (42) und einer ersten Metallschicht (43f). Nach Durchführung des Schrittes entsprechend Fig. 6C wird hierzu der erste Diffusionsbarrierenfilm in einer Stickstoffatmosphäre bei 450°C wärmebehandelt, um dadurch die thermische Beständigkeit des Diffusionsbarrierenfilms zu erhöhen. Eine derartige Erhöhung der thermischen Beständigkeit resultiert aus einem Sauerstoffpolsterungseffekt und einer Silicidbildung in der unter der TiN-Schicht gebildeten Ti-Schicht. Mit anderen Worten bildet sich Al_3Ti , wenn Ti unter der TiN-Schicht mit später gebildetem Aluminium reagiert. Aufgrund der hohen Löslichkeit von Silicium und Al_3Ti tritt daher eine Sperrschicht-Kurzschlußbildung bei einer Temperatur von 450°C auf. Demgemäß führt eine Reaktion zwischen Ti und Si zu einer $TiSi_2/TiN$ -Struktur, um auf diese Weise die thermische Beständigkeit des Diffusionsbarrierenfilms zu erhöhen. Außerdem behält der erste Diffusionsbarrierenfilm, d. h. das TiN, nach Durchführung der Wärmebehandlung eine glatte Oberfläche an den Seitenwänden der Öffnung bei.

Anschließend wird der zweite Diffusionsbarrierenfilm (42) durch Abscheiden von Ti oder TiN in einer Dicke von 10 nm bis 20 nm auf den Seitenwänden der Öffnung, auf dem durch die Öffnung freigelegten Substratbereich und auf dem ersten Diffusionsbarrierenfilm gebildet, um die Benetzbarkeit mit einem Aluminiumfilm zu verbessern. Speziell wird das TiN-Korn, d. h. der zweite Diffusionsbarrierenfilm (42), in äußerst kleiner und regelmäßiger Ausdehnung auf der glatten Oberfläche der Seitenwände der Öffnung erzeugt. Daraufhin wird die erste Metallschicht (43f) bestehend aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung, d. h. Al-Si-Cu, aufgebracht. Da das Ti-Korn in äußerst kleiner und regelmäßiger Ausdehnung auf der glatten Oberfläche der Seitenwände der Öffnung gebildet ist, tritt eine gleichmäßige anfängliche Keimbildung der ersten Metallschicht auf, und es kann eine ausgezeichnete Stufenbedeckung erhalten werden. Die erste Metallschicht (43f) kann wie in den Beispielen 3 und 4 in zwei Schritten gebildet werden.

Fig. 9B veranschaulicht den Schritt der Durchführung einer Wärmebehandlung der ersten Metallschicht (43f). Genauer gesagt wird zunächst die auf der Öffnung gebildete erste Metallschicht (43f) im Vakuum wärmebehandelt. Oberflächenatome des Aluminiumfilms bewegen sich zu der Öffnung und werden aufgrund der Wärmebehandlung im Vakuum vergraben, wie in Fig. 9b gezeigt, wodurch eine vergrabene erste Metallschicht (43g) entsteht. Da die vergrabene erste Metallschicht (43g) in einem frühen Stadium der Aluminiumabscheidung eine gleichmäßige Keimbildung zeigt und eine ausgezeichnete Stufenbedeckung aufweist, verbessert sich die Auffüll- und Überdeckungscharakteristik, wenn die Wärmebehandlung durchgeführt wird. Als Ergebnis hiervon kann die Zuverlässigkeit des zugehörigen Halbleiterbauelementes erhöht werden. Anstelle des oben geschriebenen Füllungs- und Überdeckungsverfahrens unter Verwendung einer Wärmebehandlung nach dem Aufbringen der ersten Metallschicht kann die vergrabene erste Metallschicht durch einen Sputtervorgang bei einer hohen Temperatur oberhalb von 400°C gebildet werden.

Fig. 9C veranschaulicht den Schritt der Bildung einer zweiten Metallschicht (51) auf der vergrabenen ersten Metallschicht (43g). Genauer gesagt wird die zweite Metallschicht (51) unter Verwendung desselben Materials wie dasjenige der ersten Metallschicht (43g) auf der

vergrabenen ersten Metallschicht (43g) gebildet. In dem Fall, in dem der Überhangeffekt weniger auftritt, kann jedoch der Schritt zur Bildung der zweiten Metallschicht (51) überflüssig sein, da die erste Metallschicht (43g) dann in einer gewünschten Dicke aufgebracht und wärmebehandelt werden kann, um die Öffnung füllend zu überdecken.

Ausführungsbeispiel 6

Anhand der Fig. 10A bis 10C wird anschließend ein sechstes erfindungsgemäßes Verfahrensbeispiel zur Herstellung einer Verdrahtungsschicht eines Halbleiterbauelementes erläutert. Beispiel 6 entspricht den Beispielen 2 bis 5, mit der Ausnahme, daß nach dem Aufbringen einer ersten Metallschicht durch ein CVD-Verfahren die erste Metallschicht im Vakuum wärmebehandelt wird oder eine Aluminiumlegierung auf die erste Metallschicht aufgesputtert und im Vakuum wärmebehandelt wird, um die Öffnung zu vergraben. Gleiche Elemente wie diejenigen in Beispiel 2 sind hierbei mit denselben Bezugszeichen markiert. Außerdem sind die ersten, in Beispiel 6 durchgeführten Schritte dieselben wie die zu den Fig. 6A bis 6C in Beispiel 1 gehörigen.

Fig. 10A veranschaulicht den Schritt zur Bildung einer ersten Metallschicht (43h). Die erste, aus Aluminium bestehende Metallschicht (43h) wird durch ein CVD-Verfahren auf den Seitenwänden einer Öffnung, auf einem durch die Öffnung freigelegten Substratbereich und auf einem Diffusionsbarrierenfilm gebildet. Genauer gesagt kann die Abscheidung von Aluminium oder einer Aluminiumlegierung durch ein gebräuchliches CVD-Verfahren erfolgen. Beispielsweise kann die Abscheidung unter Verwendung einer organischen Metallverbindung, beispielsweise Triisobutylaluminium (TIBA) oder Dimethylaluminiumhydrid $((CH_3)_2AlH:DMAH)$, als Quelle durchgeführt werden. Wenn die Abscheidung unter Verwendung von TIBA erfolgt, wird eine Apparatur vom Typ mit kalter Wand eingesetzt, um die Dampftemperatur unterhalb von 90°C und bevorzugt bei 84°C bis 86°C zu halten, wenn das TIBA eingebracht wird. Zusätzlich wird ein Inertgas, z. B. Argon, zum Sprudeln gebracht und als Trägergas verwendet. Dabei beträgt die wünschenswerte Strömungsgeschwindigkeit des Argongases ungefähr 71/Minute. Die Abscheidungstemperatur bei einer thermischen Zersetzung des TIBA beträgt ungefähr 250°C, was nicht erwünscht ist, da die Depositionsgeschwindigkeit hoch ist. Da sich die Depositionsgeschwindigkeit mit fallender Temperatur erniedrigt, kann die Abscheidung bei einer niedrigeren Temperatur durchgeführt werden, um die Depositionsgeschwindigkeit zu reduzieren. Unter solchen Bedingungen beträgt die Depositionsgeschwindigkeit ungefähr 100 nm/Minute, und das Aluminium wird unter Verwendung von TIBA für eine Kontaktlochabmessung von 0,2 µm während ungefähr einer Minute abgeschieden.

Als eine alternative Vorgehensweise kann die erste Metallschicht (43h) unter Verwendung eines Aluminiumwasserstoffs, beispielsweise DMAH etc., aufgebracht werden. Hierbei bleibt der Aluminiumwasserstoff bei einer niedrigen Temperatur erhalten, und die Abscheidung wird bei einer Temperatur oberhalb von 50°C durchgeführt, um eine thermische Zersetzung des Aluminiumwasserstoffs zu verhindern. Die Temperatur der Quelle kann durch Verwenden eines Inertgases, z. B. Argon, gesteuert werden. Außerdem wird zur Reduzierung der Depositionsgeschwindigkeit die Temperatur

des Substrats verringert oder die Quellenmenge vermindert. Bei dem Abscheidungsverfahren, das einen Aluminiumwasserstoff verwendet, kann die Depositionstemperatur durch Verwenden einer geeigneten Quelle verringert werden. Die Abscheidung wird in einer reaktiven Kammer durchgeführt, in welcher der Druck 0,01 Torr bis 10 Torr und die Temperatur 50°C bis 150°C betragen. Da die erste Metallschicht (43h) durch ein CVD-Verfahren auf der glatten Oberfläche des an den Seitenwänden der Öffnung gebildeten TiN aufgebracht wird, wird eine ausgezeichnete Stufenbedeckung erreicht, wie in Fig. 10A gezeigt.

Fig. 10B veranschaulicht den Schritt des füllenden Überdeckens der Öffnung mittels Durchführung einer Wärmebehandlung der ersten Metallschicht (43h). Genauer gesagt wird die auf der Öffnung gebildete erste Metallschicht (43h) im Vakuum ohne Vakuumunterbrechung wärmebehandelt, oder es wird eine Aluminiumlegierung, z. B. Al-Si-Cu, auf die erste Metallschicht (43h) aufgesputtert und im Vakuum wärmebehandelt. Die Oberflächenatome des Aluminiumfilms werden aufgrund der Wärmebehandlung im Vakuum beweglich, so daß die Öffnung vergraben wird, wie in Fig. 10B dargestellt, wodurch eine vergrabene erste Metallschicht (43i) entsteht. Hierbei kann die Temperatur der Wärmebehandlung mit steigendem Grad an Vakuum verringert werden, wenn eine Abscheidung oder eine Wärmebehandlung im Vakuum durchgeführt wird. Wenn die zweite Metallschicht beim Aufbringen derselben mittels des CVD-Verfahrens in einer Dicke aufgebracht wird, die der Hälfte der Öffnungsabmessung entspricht, kann die Öffnung nahtlos und ohne einen Hohlraum vergraben werden. Die Öffnung kann folglich in diesem Fall ohne Durchführung der Wärmebehandlung im Vakuum füllend überdeckt werden. Wenn eine Naht oder ein Hohlraum erzeugt wird, kann dies durch nachfolgende Wärmebehandlung im Vakuum beseitigt werden. Demgemäß ist die Wärmebehandlung im Vakuum optional.

Fig. 10C veranschaulicht den Schritt zur Bildung einer zweiten Metallschicht (53) auf der vergrabenen ersten Metallschicht (43i). Genauer gesagt wird die zweite Metallschicht (53) unter Verwendung desselben Materials wie dasjenige der ersten Metallschicht mittels eines Sputterverfahrens auf die vergrabene erste Metallschicht (43i) aufgebracht. Alternativ kann dasselbe Material wie dasjenige der ersten Metallschicht (43i) auf die vergrabene erste Metallschicht (43i) aufgesputtert werden, um eine zweite Metallschicht (53) zu bilden, die dann im Vakuum wärmebehandelt wird. Der Schritt zur Bildung der zweiten Metallschicht (53) kann überflüssig sein, wenn die erste Metallschicht (43h) in einer gewünschten Dicke aufgebracht und wärmebehandelt wird, um die Öffnung zu vergraben.

Vergleichsbeispiel

Die Fig. 11 und 12 zeigen Rasterelektronenmikroskopaufnahmen einer TiN-Oberfläche, die erfindungsgemäß plasmabestrahlt wurde, bzw. einer herkömmlichen, nicht plasmabestrahlten TiN-Oberfläche. Die Oberfläche des TiN in Fig. 11 ist glatt und weist keine Korngrenzen auf. Die Oberfläche des mit einer herkömmlichen Technik aufgetragenen TiN in Fig. 12 ist rau.

Da eine ausgezeichnete anfängliche Depositionscharakteristik von Aluminiumatomen vorliegt, wird durch die Erfindung ein Aluminiumfilm der Metallschicht gleichmäßig und kontinuierlich gebildet. Ein solcherm-

Ben auf den Seitenwänden des ebenmäßigen Diffusionsbarrierenfilms gebildeter Aluminiumfilm der Metallschicht weist eine gute Stufenbedeckung auf. Deshalb kann ein Kontaktloch mit hohem Aspektverhältnis wirksam vergraben werden, ohne einen Hohlraum darin zu erzeugen, so daß die Zuverlässigkeit eines entsprechend hergestellten Bauelementes erhöht wird. Es versteht sich, daß der Fachmann verschiedenartige Änderungen und Modifikationen der vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiele vorzunehmen vermag, ohne vom Umfang der durch die Ansprüche charakterisierten Erfindung abzuweichen.

Patentansprüche

1. Verdrahtungsstruktur eines Halbleiterbauelementes, mit

- einem Halbleitersubstrat (31),
- einer auf dem Halbleitersubstrat gebildeten Isolationsschicht (35), die eine darin gebildete Öffnung aufweist,
- einem Diffusionsbarrierenfilm (37) und
- einer auf dem Diffusionsbarrierenfilm gebildeten Metallschicht (41)

dadurch gekennzeichnet, daß

- der Diffusionsbarrierenfilm (37) an den Seitenwänden der Öffnung eine mittels einer Plasmabestrahlung gebildete ebenmäßige Oberfläche aufweist.

2. Verdrahtungsstruktur nach Anspruch 1, weiter dadurch gekennzeichnet, daß der Diffusionsbarrierenfilm aus einem hochschmelzenden Metall oder einer hochschmelzenden Metallverbindung besteht.

3. Verdrahtungsstruktur nach Anspruch 2, weiter dadurch gekennzeichnet, daß das hochschmelzende Metall Ti und die hochschmelzende Metallkomponente TiN ist.

4. Verdrahtungsstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 3, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnung ein Kontaktloch zur Freilegung eines Störstellendiffusionsgebietes (33) des Halbleitersubstrates oder ein Kontaktloch zur Freilegung einer darunterliegenden, leitfähigen Schicht ist.

5. Verdrahtungsstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 4, weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Metallschicht die Öffnung, in welcher der Diffusionsbarrierenfilm gebildet ist, füllend überdeckt.

6. Verfahren zur Herstellung einer Verdrahtungsstruktur eines Halbleiterbauelementes, gekennzeichnet durch folgende Schritte zur Erzeugung einer Verdrahtungsstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 5:

- a) Aufbringen einer Isolationsschicht (35) auf ein Halbleitersubstrat (31),
- b) Erzeugen einer Öffnung in der Isolationsschicht,
- c) Aufbringen eines Diffusionsbarrierenfilms (37) auf die Isolationsschicht, auf den durch die Öffnung freigelegten Substratbereich und auf die inneren Seitenwände der Öffnung,
- d) Plasmabestrahlung der Oberfläche des auf den inneren Seitenwänden der Öffnung gebildeten Diffusionsbarrierenfilms und
- e) Aufbringen einer Metallschicht auf den plasmabestrahlten Diffusionsbarrierenfilm.

7. Verfahren nach Anspruch 6, weiter dadurch gekennzeichnet, daß das Plasma unter Verwendung

einer ein Inertgas verwendenden ECR-Plasmaapparat-
 atur, einer HF-Plasmaapparat- oder einer ma-
 gnetronverstärkten Plasmaapparat- erzeugt wird.
 8. Verfahren nach Anspruch 7, weiter dadurch ge-
 kennzeichnet, daß der Plasmaeffekt durch Zugabe
 von Wasserstoff zum Inertgas gesteigert wird. 5
 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8,
 weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Metall-
 schicht mittels eines CVD-Verfahrens aufgebracht
 wird. 10
 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9,
 weiter gekennzeichnet durch einen Schritt zur
 Durchführung einer Wärmebehandlung nach dem
 Schritt c.
 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 10, 15
 weiter gekennzeichnet durch einen Schritt zur
 Durchführung einer Wärmebehandlung zwecks
 füllendem Überdecken der Öffnung nach dem
 Schritt e.
 12. Verfahren nach Anspruch 11, weiter gekenn-
 zeichnet durch einen Schritt zum Aufbringen einer
 zweiten Metallschicht nach dem Schritt zum fül-
 lenden Überdecken der Öffnung. 20
 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 12,
 weiter dadurch gekennzeichnet, daß die Metall-
 schicht durch einen zweischrittigen Prozeß zuerst
 bei einer ersten Temperatur und dann bei einer
 zweiten Temperatur aufgebracht wird. 25
 14. Verfahren nach Anspruch 13, weiter dadurch
 gekennzeichnet, daß die erste Temperatur kleiner
 als die zweite Temperatur ist. 30
 15. Verfahren zur Herstellung einer Verdrahtungs-
 struktur eines Halbleiterbauelementes, gekenn-
 zeichnet durch folgende Schritte zur Herstellung
 einer Verdrahtungsstruktur nach einem der An- 35
 sprüche 1 bis 5:
 a) Aufbringen einer Isolationsschicht (35) auf
 ein Halbleitersubstrat (31),
 b) Erzeugen einer Öffnung in der Isolations-
 schicht, 40
 c) Aufbringen eines ersten Diffusionsbarrie-
 renfilms (39a) auf die Isolationsschicht, auf den
 von der Öffnung freigelegten Substratbereich
 und auf die inneren Seitenwände der Öffnung,
 d) Plasmabestrahlung der Oberfläche des auf 45
 den Seitenwänden der Öffnung gebildeten er-
 sten Diffusionsbarrierenfilms,
 e) Aufbringen eines zweiten Diffusionsbarrie-
 renfilms (42) auf den geätzten ersten Diffu-
 sionsbarrierenfilm (39b), 50
 f) Aufbringen einer Metallschicht (43f) ganzflä-
 chig auf das mit dem zweiten Diffusionsbarrie-
 renfilm versehene Substrat und
 g) füllendes Überdecken der Öffnung mittels
 Durchführung einer Wärmebehandlung der 55
 Metallschicht.
 16. Verfahren nach Anspruch 15, weiter dadurch
 gekennzeichnet, daß die Metallschicht nach dem
 Schritt e ohne Vakuumunterbrechung aufgebracht
 wird. 60
 17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, weiter
 gekennzeichnet durch einen Schritt zum Aufbrin-
 gen einer zweiten Metallschicht (51) nach dem
 Schritt f.
 18. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 17, 65
 weiter gekennzeichnet durch einen Schritt zur
 Durchführung einer Wärmebehandlung nach dem
 Schritt e.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 18,
 weiter gekennzeichnet durch einen Schritt zur
 Durchführung einer Wärmebehandlung nach dem
 Schritt d.

20. Verfahren zur Herstellung einer Verdrahtungs-
 struktur eines Halbleiterbauelementes, gekenn-
 zeichnet durch folgende Schritte zur Herstellung
 einer Verdrahtungsstruktur nach einem der An-
 sprüche 1 bis 5:

- Aufbringen einer Isolationsschicht (35) auf
 ein Halbleitersubstrat (31),
- Erzeugen einer Öffnung in der Isolations-
 schicht,
- Aufbringen eines ersten Diffusionsbarrie-
 renfilms (39a) auf die Isolationsschicht, auf den
 von der Öffnung freigelegten Substratbereich
 und auf die inneren Seitenwände der Öffnung,
- Plasmabestrahlung der Oberfläche des auf
 den Seitenwänden der Öffnung gebildeten er-
 sten Diffusionsbarrierenfilms,
- Aufbringen eines zweiten Diffusionsbarrie-
 renfilms (42) auf den geätzten ersten Diffu-
 sionsbarrierenfilm (39b) und
- Durchführen eines Sputtervorgangs bei ho-
 her Temperatur ganz flächig über dem mit
 dem zweiten Diffusionsbarrierenfilm versehe-
 nen Substrat zum füllenden Überdecken der
 Öffnung.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG. 4 (STAND DER TECHNIK)

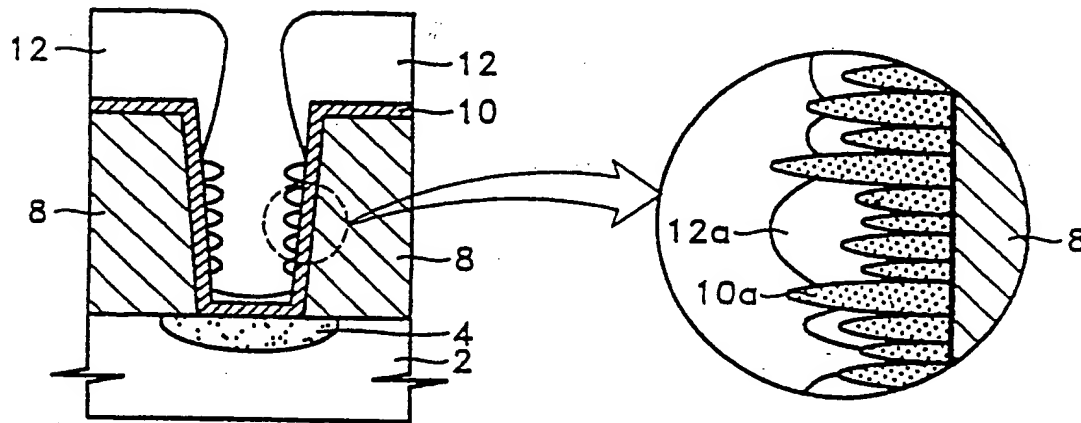


FIG. 5 *

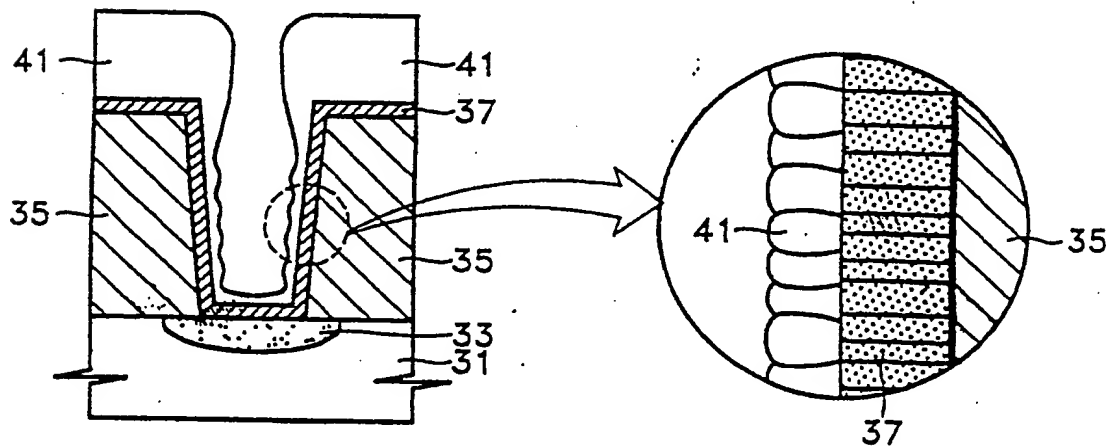


FIG. 1 (STAND DER TECHNIK)

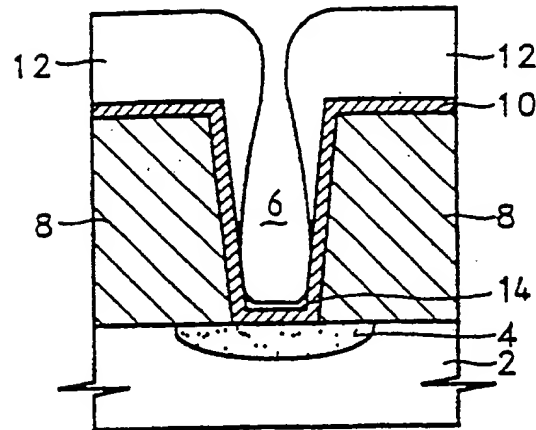


FIG. 2 (STAND DER TECHNIK)

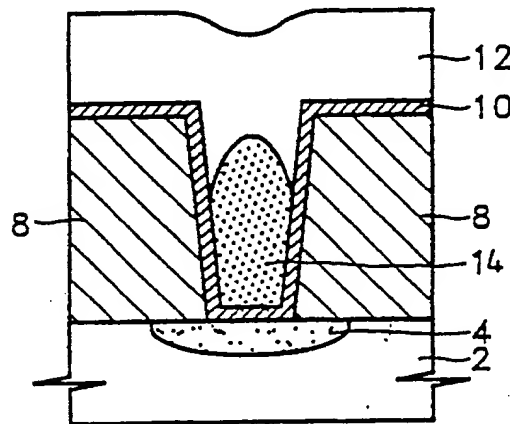


FIG. 3 (STAND DER TECHNIK)

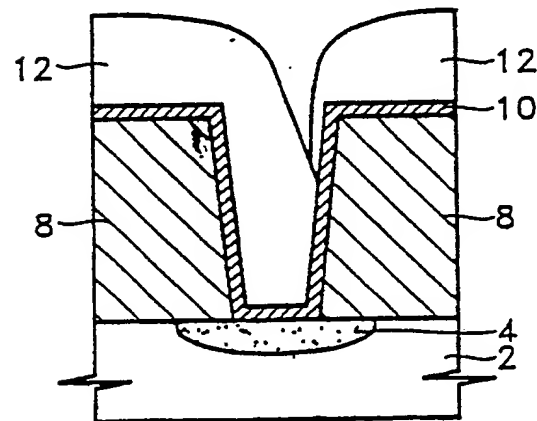


FIG. 6A

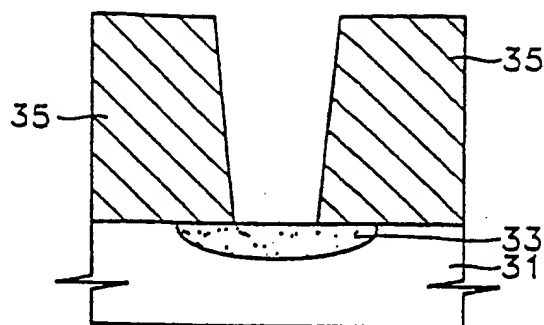


FIG. 6B

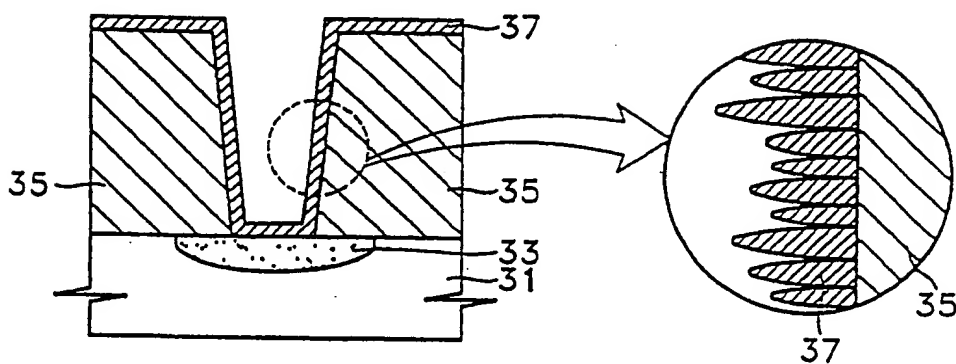


FIG. 6C

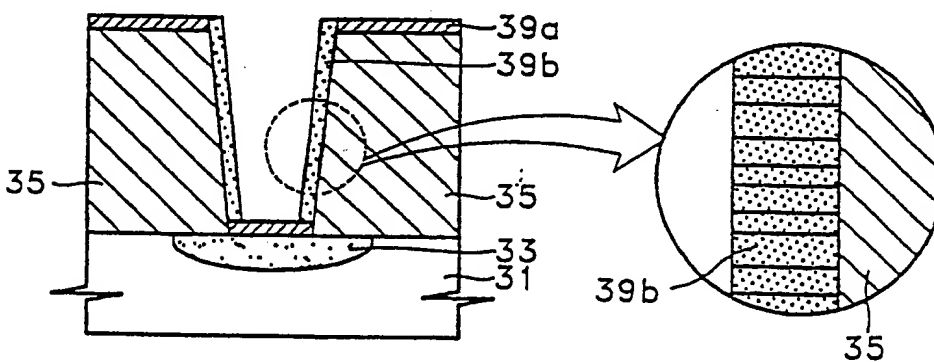


FIG. 6D

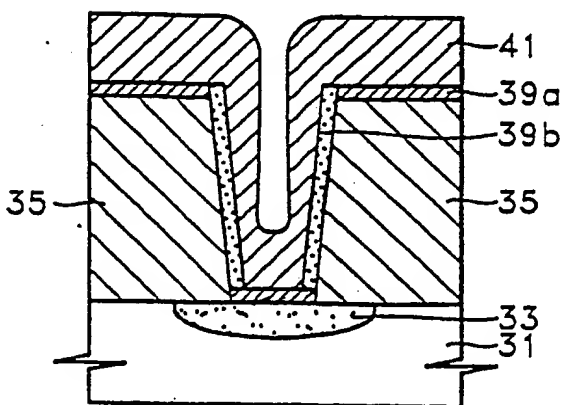


FIG. 7A

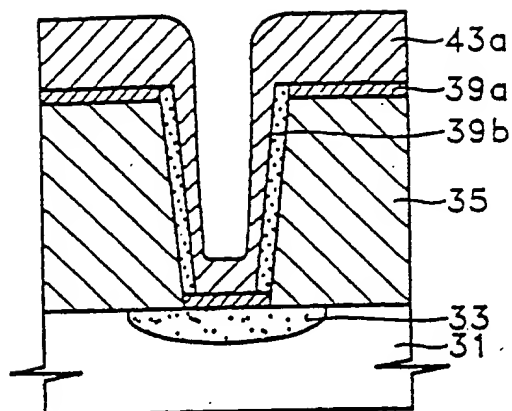


FIG. 7B

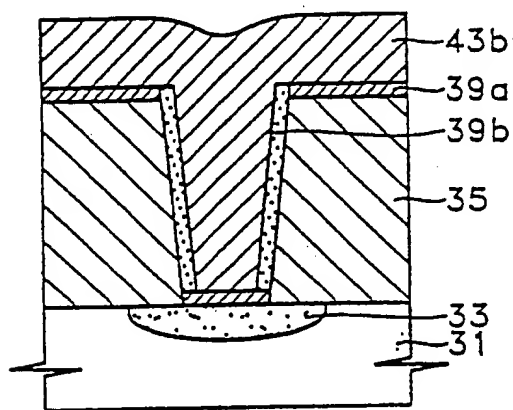


FIG. 7C

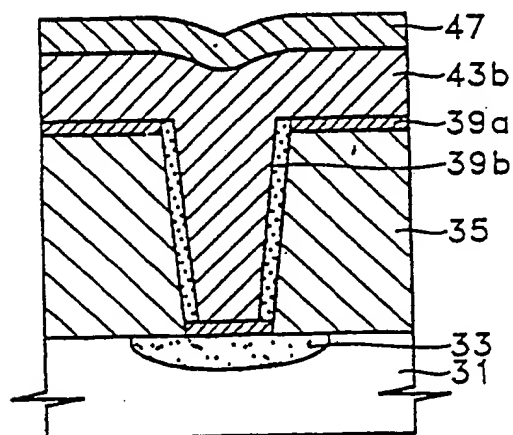


FIG. 8A

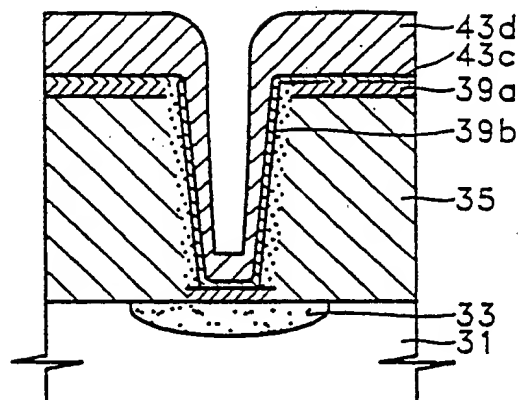


FIG. 8B

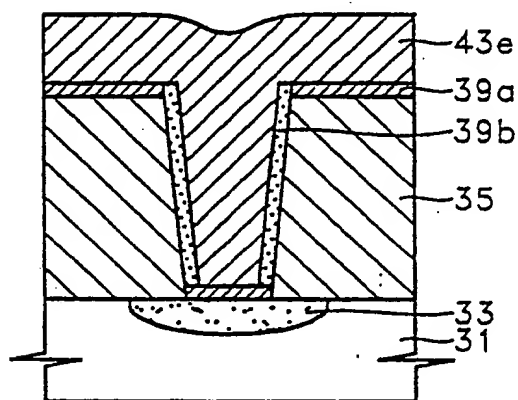


FIG. 8C

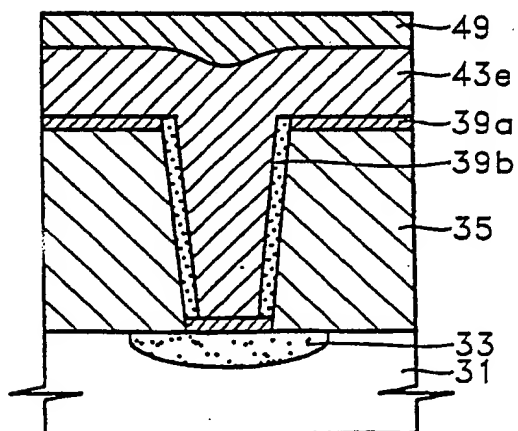


FIG. 9A

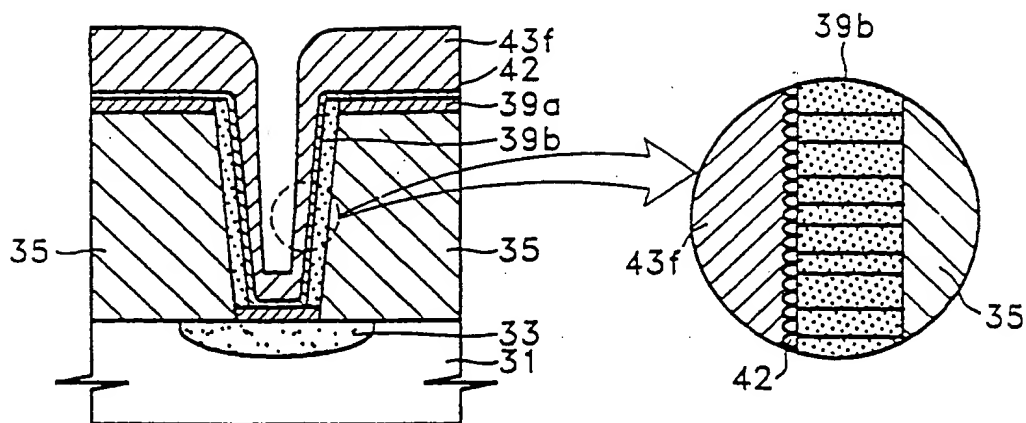


FIG. 9B

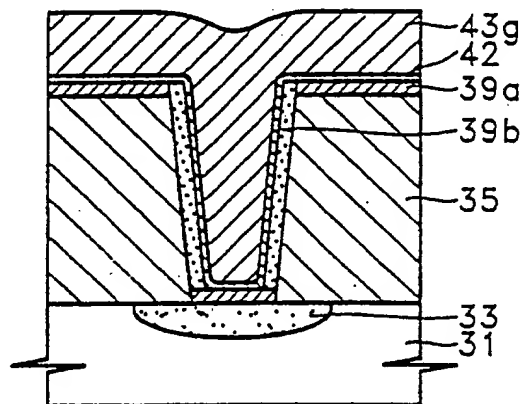


FIG. 9C

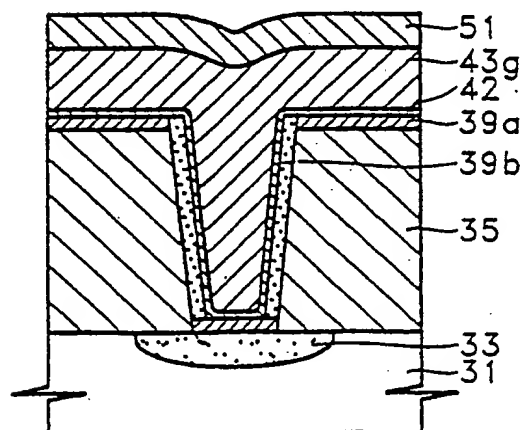


FIG. 10A

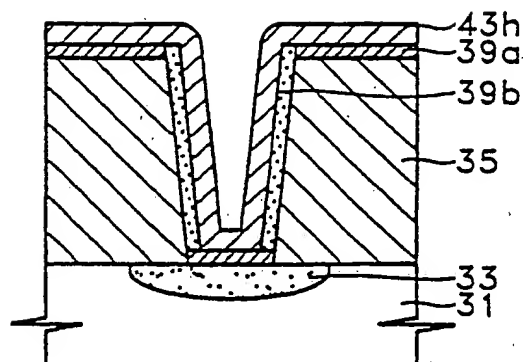


FIG. 10B

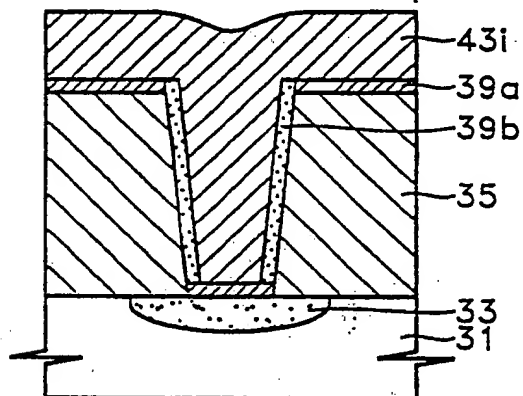


FIG. 10C

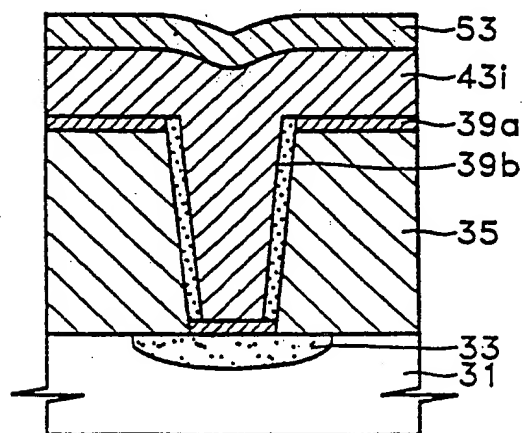


FIG. 12

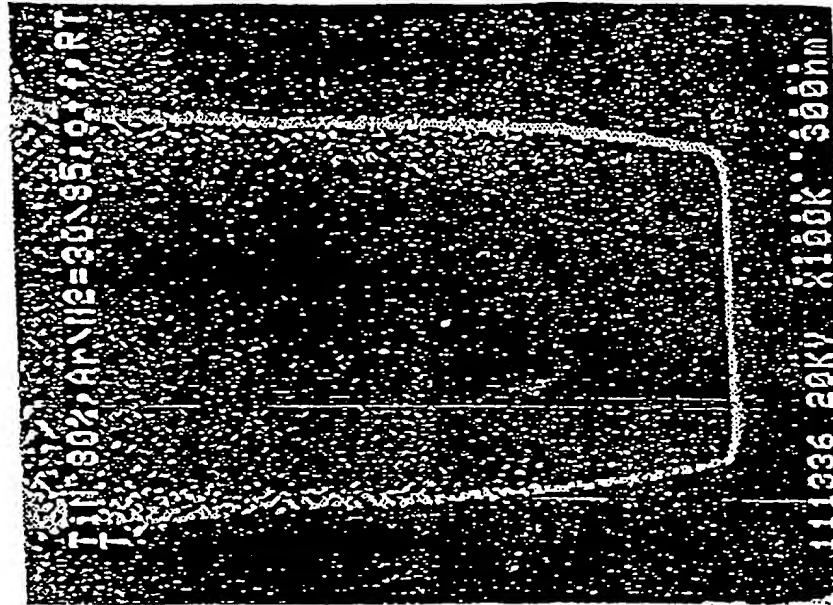
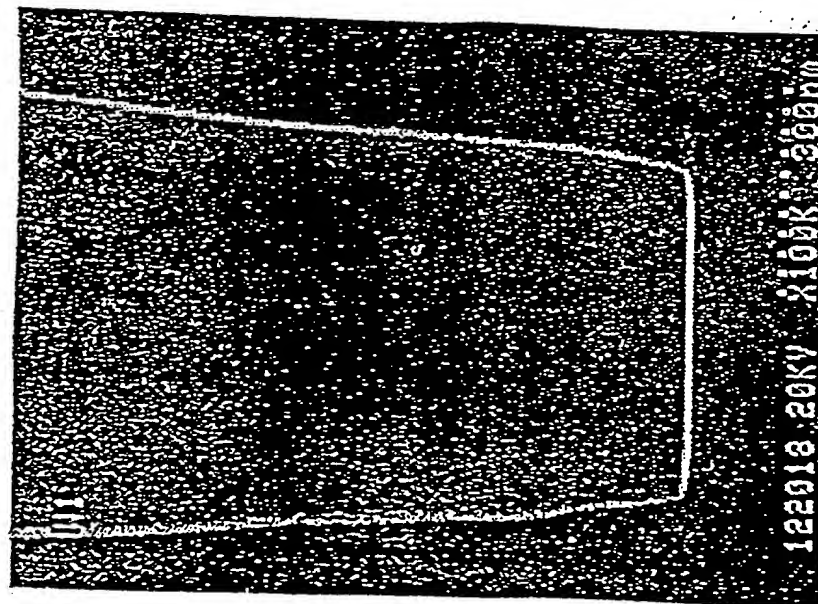


FIG. 11



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)